

鑄鉄の接種について

養田 実 平 木 道 幸
高山 藤 一 郎

Studies on the Inoculation of the Cast Iron

Minoru YOHDA Michiyuki HIRAKI
Touichiro TAKAYAMA

The authors summarized the various papers on the inoculation of cast iron, published during the last several years. And researched on the effects of the inoculants to the tensile strength of the cast iron.

The authors used Fe-Ti, Al-Ti, Zn, Cu-Zn, Fe-Zr and Fe-V, etc., for the complex to Ca-Si, and investigated the effectable inoculant's percent to the various carbon contents of the iron.

And recognized from the obtained results that it may be possible to get the high tensile strength cast iron that is over 40 kg/mm² by the inoculation only, and to reach near the value of the ductile cast iron.

1. 緒 言

接種とは熔湯に金属又は合金化合物などをLadle又は樋などに於て適当な方法によつてLate additionすることであつて、相当前から行われているがまだ機構の内容も明確にされておらず、実際的にも多くの問題が残されているように考えられる。接種に関する論文も球状黒鉛に関する論工程数多く発表されておらず、纏つたものも少いので、戦後から最近迄のこの方面の文献を一応纏めて一括した項目に分類してみることにした。併せて著者等の所で今迄行つた実験の中で数種のInoculantを使用して試料を作製しその機械的性質を調べた結果について報告する。

2. 接種に関する一般

接種を広義に解釈すれば黒鉛の球状化なども包含させることが出来るが、一般に考えられている接種とは所謂強靱鑄鉄を作るための方策として行われているもので、つまり低C、或は低Siの湯を熔製する場合にその白銹化一步手前で接種により黒鉛形状を変態させて強度を向上させる目的を有する。組織で見れば黒鉛がD型又はE型を含み易い訳であるがこれを接種によつてA型に変える。又小黒鉛の集まる区域に析出するMatrix中のFerriteが無くなり易く遊離Cementite、や一般のFerrite析出も減少或は防止しようとすることが大きなねらいである。然しInoculantの種類及び性能によつてこれらの点は一概に片付けられない各面が存在する。

要するに接種効果として現われる結果は

- ① 鑄鉄の機械的物理的諸性質の改善
- ② チルを減少して肉厚感受性を小とし、緻密な組織にする。

③ 或る程度の合金効果も同時に期待出来又基地の改良を有効にする。
と云うような事柄があげられる。

而して、接種と云う問題を定義的に要約すれば化学分析成分には殆んど影響がない程度の極く微量の物質を熔湯に添加して、その組織を変更改善し性能を向上させる事であつて、更に最近までの諸文献を分類総括してみると大要次のような事になる。

(1) 接 種 剤

接種剤を分類すると次の3種類が考えられる。

(i) 黒鉛化接種剤

これに属するものとしては黒鉛化に有効なSi系を用いる場合が多い。例えばSi, Si-Mn, Si-Ti, Ca-Si, Si-Zr, Si-Mn-Zr, C, Si-C, CaC₂などの各種がある。

(ii) 安定化接種剤

炭化物を安定化して黒鉛化を防げる方の働きをするもので接種効果のある場合がある。例えば、Mg, Cr, Mo, Vなどで、状況によつては安定化が過ぎて白鉄化しないように黒鉛化元素を併用する。

(iii) 複 合 接 種

上記の二種を同時に行つて効果をあげようと云う訳で Si-Cr, Si-Mo, Si-Mn-Cr, Si-Mn-Cr-Zr など色々考えられる。

(2) 接 種 量

接種剤にもよるが大体0.3~0.5%程度が普通に用いられる量である。チルの減少消失のためには0.1%位で充分であり、黒鉛化を促進すると云う点だけについてみれば0.2%前後で充分有効であるが、接種効果と云う事では上記の量が必要である。例えば接種温度1520°CではCa-Siは少くとも0.3%, Fe-Siは0.5%, Mg-Siは0.5%以上接種しないと良い組織にはならないと云われる。然し余り多いのも問題で例えば黒鉛は接種剤として1%を超えると黒鉛形状を粗大にしmatrixの硬度も下る。但し球状黒鉛を得ようと云う場合には様子が相違してくるのでCa-Siを約5%以上添加しないと期待通りの結果が出ない。この場合はSは0.02%以下である事を要し、Cは2%以上の低炭素であればよいと云われる。

(3) 形 状

一般には粒状で添加している。粉末にすると熔銑の表面で酸化消耗する量が多くなり、効果が減少する。そのためCa-SiでもFe-Siでも大体6~12 mesh位が普通の粒度である。熔湯の温度、添加方法、添加量などにも関係があり又Crなどのように粒よりも粉の方が有効だと云うものもあるが、一般には余り粉にならぬ程度の微粒が良い。

(4) 温 度

熔解温度と接種温度に分けて考える必要があるが、一般的にどちらも高温の方がよいようであつて、最高熔解温度は1.600°C位、接種温度は1.500°C以上1,520~1,530°C位が有効と云われる。Ca-Siを5~6%も添加して球状化をねらう場合には様子が違つてむしろ1,400°C台が良いと云う事であるが一般の接種には1,500°C又はこれを越した方が有効と認められる。

(5) 持 続 性

この問題は色々関心をもちたれ多くの研究発表もあるが大体15~30分位で元の値に戻ると云われる。白鉄の試料に接種を行うと一旦完全なA型鼠銑の組織になるが、熔銑の保持時間が経過するにつれてA型の片状黒鉛がD型、E型の過冷組織に変化すると共に鼠銑から斑銑に変わり、更に鼠銑の部分が次第に減少して、遂には接種前の完全な白鉄組織に戻つて了う。この場合接種量の増加につれて

接種効果も増大するが、同時に接種効果の持続時間も長くなる。

又接種後の熔銑保持温度の高い程持続性は減少して鼠銑の時間が短くなり斑点を呈する時間が長くなる。尚 Fe—Si と Ca—Si について両者の Si としての接種量を同一にして比較すると Ca—Si の方が接種直後の鼠組織の片状黒鉛は微細均一であつて、効果の持続時間も長く Fe—Si より有効であることが認められている。

(6) 成 分

試料の成分としては炭素当量及び C, Si が低い程接種効果は大であつて、機械的性質から考えて接種効果をよく発揮する素材成分としては

C 3.0~3.3% Si 1.0~1.3%

位が適当と云われている。

鋼屑を大量に使用した場合は白銑化傾向が助長され、接種効果が特に大きいことが期待されている。Steadite 組織は接種によつて殆んど影響を受けないので P は少い方が有効である。Sc が低く P の低い素材と云うことで自然に鋼屑多量配合が行われるようになる。Mg が不足で黒鉛の球状化が不完全な熔湯に対して Si 接種をすると著しい球状化を促進する。一般に低 C, 低 Si の熔銑に対しては Ca—Si が接種剤として Si よりも優れているが、Mg 処理をした熔銑では Si の方が Ca—Si より接種作用が強い。

つまり Mg 処理をしたような酸化度の極めて低い熔銑に対しては Ca—Si は接種剤として最良ではない事を示している。

Cr 鑄鉄, Mo 鑄鉄, V 鑄鉄に於いて各々 Cr 0.2%, Mo 1%, V 0.5% 迄は Ca—Si 0.5% 接種で良い効果が得られるが、合金元素がこれ以上になると接種量を更に増加しないと十分な効果が得られないと云われる。

(7) 機 構 諸 説

接種の機構については色々有力な説も出ているが、何れも完璧なものではなく結局これらのどれにも関連した種々の Factor が影響しているものと考えられる。

而して Inoculant 或いはその他の条件によつてその Factor の濃淡強弱が多少相違してくると云う訳のものであろう。

(a) 核 説

共晶黒鉛と呼ばれる小さい黒鉛の集りは過冷によつて発生し、もし過冷却させなければ数少く大きな片状に発達する筈である。従つて過冷却しないうちに早く黒鉛が晶出し易い或る種の核を接種によつて与えてやれば過冷せず小さい黒鉛集団を出さずに済む。つまり接種とはこの核を与える事を意味するのだと云うのがこの説で、この論者に相当するが一方又反論も色々出ている。

(b) 脱 ガ ス 説

熔湯にガスが溶けていると核の生成速度を小さくし過冷を起し易くする。一般の接種剤は一種の脱酸剤とも見られ、接種によつて脱ガスされるために性能が向上するのだと云う考えである。

酸素、窒素、水素などは概して黒鉛化を妨げるが特に酸素の影響は大きいと考えられており、この酸素を接種によつてとつてやれば過冷を起さず性能が良くなる訳だが、センダイト式の考え方で証明されているように余り脱酸を充分やり過ぎて酸素が一定値以下になると却つて白銑化の傾向をもつようになる。とも角接種剤は皆脱酸剤でもなく又脱酸剤なら何でも有効と云う訳でもない。接種効能を凡て脱ガスで片付けようとするこの説に対しても相当異論が出されている。

(C) その他の説

(i) D 型や E 型の小黒鉛は準安定系に凝固して出来た共晶セメントイトが直ちに分解したもの

であり、接種することによつて安定系に凝固させて黒鉛片を適当に成長させるのだと云う説。

(ii) 活性元素の活性化が接種効果になると云う説。

(iii) 接種剤が熔解する過程に於いて局部的に不均一な偏析状態即ち濃化現象が大きな原因だ云う説。

その他色々の考え方が夫々の実験的考察の結果出されている。

3. 実験方法

本実験に用いた試料の成分は表-1に示す通りである。接種剤としてはCa-Siと各種Fe-V, Al-Ti等の複合接種剤としてその効果を調べた。

それら接種剤の成分は表-2のようである。熔解はクリプトル電気炉によつて黒鉛ルツボ内で行い、熔解

表-1 供試剤成分

成分	C	Si	Mn	P	S
パーセント	3.0 (2.5)	0.96	0.52	0.20	0.20

表-2 接種剤成分

種類	成分%	C	Si	P	S	Al	Mn	Fe	Ti	V	Zr	Cu	Ca	Zn
Cu-Si		0.6	57.0	0.05	0.05			4.0					33.0	
Fe-V		0.092	0.53	0.009	0.030	1.04				51.58				
Fe-Zr		0.122	22.38			3.14					45.49			
Al-Ti		0.08	0.14			残	0.07	0.16	4.7					
Fe-Ti		0.08	0.05	0.011	0.009		0.16		28.76					
Cu-Zn												67		33

温度1,550~1,600°C接種温度1,500°C接種後約1~1.5分放置して砂型に鋳込み試料を作製した。鋳込方法は縦込みで試料の寸法は直径20mm、長さ250mmの丸棒でこれより引張試験片、硬度試験片、顕微鏡試料などを採つた。

4. 実験結果及び考察

供試素材は表-1に示したものであるがこれらNo.1, No.2の各試料に夫々Ca-Si 0.3%及びその他のInoculantを加えて行つた実験の結果をInoculantの種類によつて整理してみると次の様になる。

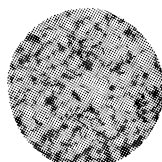


写真-1

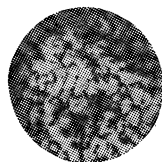


写真-2

写真-1はC3.0%の素材にCa-Si 0.3%接種した場合の組織を示し、

写真-2は同じくC2.5%の場合である。

(1) Zn

C3.0%の試料にCa-Si 0.3%とZnを添加した場合には図-1に示す様に抗張力はCa-Siのみ0.3%添加した場合よりZn 0.1%混合併用した方が高い値となるがZnが増加すると逆に低下し而もZnが更に0.5%, 1.0%と増加すると再び抗張力は高くなる。硬度は余り変らないが少々低下の傾向を示している。

(2) Cu-Zn

同様にCu-Znを併用すると図-2で見る通り0.1%でピ

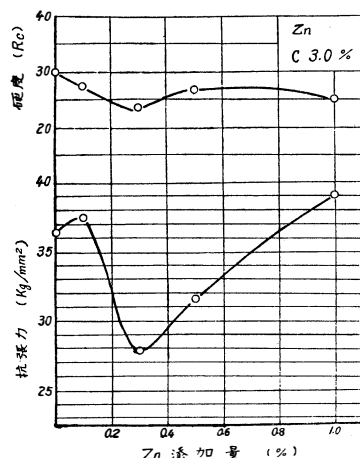


図-1

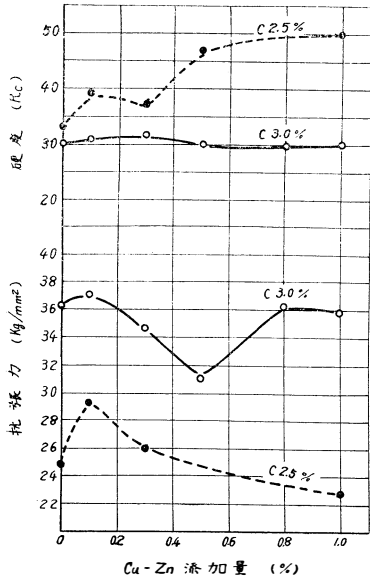


図-2

との関係によつて考えれば、Ti の様な黒鉛化性の強い元素には素材 C は 3% では多いと云う事と更に Fe-Ti が増加するにつれて抗張力の低下が見られるのは合金元素の関係から説明がつく。この様な傾向は次の Al-Ti その他の Inoculant の場合にも同様に認める事が出来る。

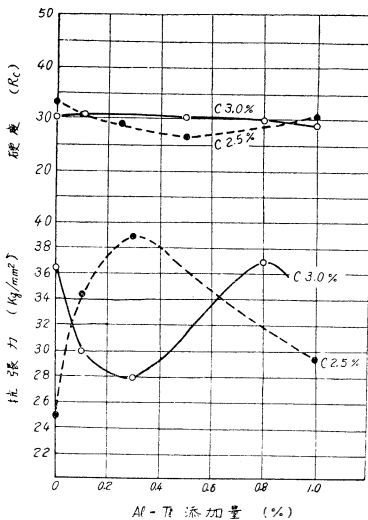


図-4

として複合した場合は図-5 で見られるように初め相当高く抗張力は上昇するが添加量が増すにつれて漸次低下してくる。而して全般的に C 3.0%の方が C 2.5%の場合よりも強度は高いことが分る。硬度は何れも少々下り気味である。

ークが出るがその後抗張力が低下し 0.5% 附近から再び上昇する。この傾向は Zn の場合と同じであるが値としては Ca-Si 単独の時より特に有効であるとは云えない。C 2.5% の場合で見るとやはり Cu-Zn 0.1% で高くなっているがそれ以上になると低下の傾向を示している。反対に硬度は急昇してくるので白鈍化の現象と見られる。

(3) Fe-Ti

この場合も図-3 で見るように C 3.0% では一度抗張力は低下して Fe-Ti 0.1% 附近から又上昇してくる。ところが C 2.5% では抗張力は上昇して後に降下を示し全く逆の傾向を辿る。結局 Ti の黒鉛化性と試料の C% の

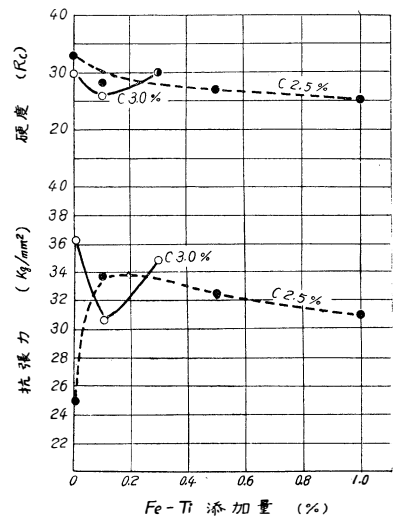


図-3

(4) Al-Ti

図-4 に見られる様に Fe-Ti の場合よりも一層ループの傾向が著しく出ている。

従つて抗張力の増大も減少も共に大幅に現われてくる訳であるが、Al も Ti も黒鉛化能の強い元素であるから素材の C% が高い場合には不向きであるが、C% が適当に少い時には相当の強度が期待出来ると考えられる。Al-Ti が多くなると傾向が再び反対となるが、これは合金元素としての影響が出ているものと思われ、Al-Ti 1.0% 以上になれば両者の差即ち素材の C% の差よりも合金元素の影響から抗張力は接近してくるものと考えられる。硬度については余り変動は見られない。

写真-3 は C 2.5% の素材に Al-Ti 0.3% 複合接種した場合の組織を現わす。

(5) Fe-Zr

Zr は微弱な黒鉛化元素である。Fe-Zr

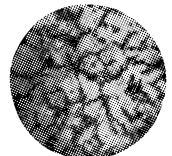


写真-3

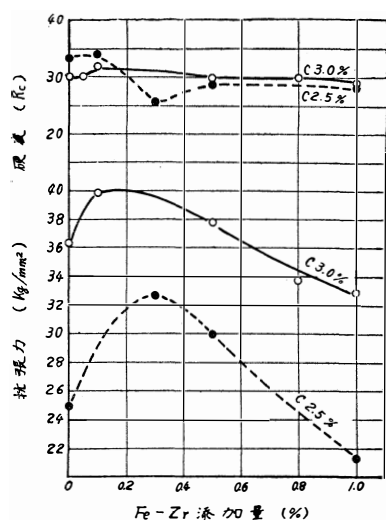


図-5

々0.05%, 0.3%, 0.5%, 1.0%の複合接種した場合の組織を示した。Fe-Vの増加につれて黒鉛及び基地が漸次変化して行く様子が現れる。写真-9はC2.5%素材にFe-Vを1.0%併用した場合で鼠組織を遙かに通過して黒鉛は消失しVの炭化物が多く現われている事が分る。

5. 結 言

Ca-Siは接種剤として非常に有効である事が認められるが、以上の実験結果から見て各種 Inoculant は使用方法即ち接種量が適当であればCa-Si単独の場合よりも併用した方が効力は大きくなる。而してC2.5%の素材に対してはAl-Ti, Fe-Ti, 及びFe-Zr等が有効であり、C3.0%に対してはFe-V, Fe-Zr等が接種効果が大きい。然しながら本実験結果の中にはまだチェックを要すると思われる個所もあり全穀としてみても抗張力40kg/mm²程度が最高なのでまだまだこれ以上の強度をだすことは可能であり、本実験の未整理資料にも更に高度のものもありいずれ報告する予定であるが、何れにしても現在強靱鑄鉄の大体最高値と目されている強度35kg/mm²を超越し球状黒鉛鑄鉄との間隙を埋める高性能の超強靱鑄鉄とでも称すべきものをInoculation onlyによつて得る事は必ずしも不可能ではないと考えられる。

〔註〕

“接種に関する一般”の調査文献

日本鑄物協会誌

日本金属学会誌

日本鉄鋼協会誌

Foundry Trade Journal.

Foundry.

Giesserei.

Iron Age.

その他

写真-4はC3.0%の素材にFe-Zr 0.1%複合接種した場合の組織である。

(6) Fe-V

Vは黒鉛化阻害剤であるが図-6で見ると何れもFe-V 0.6%位迄は抗張力は大体上昇の傾向が見られる。

C3.0%の場合硬度に余り影響がないが次第に上昇傾向を示し抗張力は低下する。組織的にもFe-Vが多くなれば黒鉛も消失して鑄造品としての使用は困難となろう。

C2.5%の場合は特に硬度が高くなり炭化物が多くなる。

写真-5～8にはC3.0%の素材にFe-Vを夫

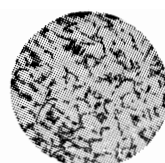


写真-4

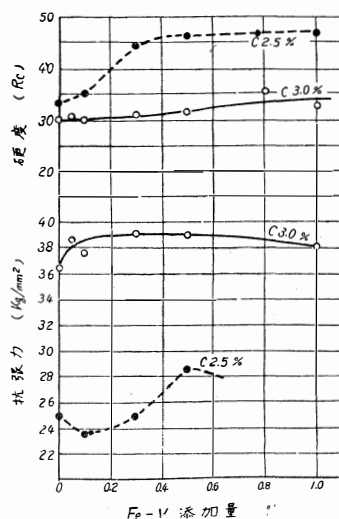


図-6



写真-5

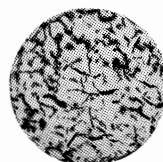


写真-6

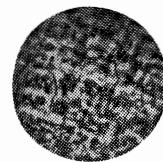


写真-7

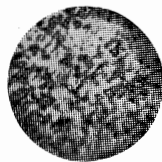


写真-8



写真-9